

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКА ФЕРРОЖИДКОСТИ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Волчков С.О.^{1*}, Бляхман Ф.А.^{1,2}, Тимохина В.Э.^{1,2},
Честухин В.В.³, Курляндская Г.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

³⁾ НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва, Россия

*E-mail: Stanislav.volchkov@urfu.ru

INVESTIGATION OF THE FERROFLUID IN BLOOD VESSELS OF COMPLEX GEOMETRY BY THE FINITE ELEMENTS METHOD

Volchkov S.O.^{1*}, Blyakhman F.A.^{1,2}, Timokhina V.E.^{1,2},
Chestukhin V.V.³, Kurlyandskaya G.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

³⁾ Research Institute of Emergency Care named after N.V. Sklifosovsky, Moscow, Russia

Annotation. We present the results of modeling of the magnetodynamics of ferrofluid containing iron oxide nanoparticles circulating in a real coronary artery with multiple stenosis due to atherosclerosis. The response of the giant magnetoimpedance sensor based on the [FeNi/Cu]3/Cu/[FeNi/Cu]3 is used. The finite-element method and Comsol Multiphysics 5 licensed software in microhydrodynamics and AC / DC modules were used.

Характеристика течения жидкостей в сосудах сложной формы является не-тривиальной задачей гидродинамики, и ее решение открывает широкий круг приложений в медицине, связанных с диагностикой гемодинамики в патологически низменных артериях. Использование контрастирующих веществ облегчает визуализацию анатомических дефектов артерий и потоков крови в них. В настоящей работе рассматривается новый подход к количественной оценке гемодинамики в кровеносных сосудах, предусматривающий использование магнитных наночастиц (МНЧ) в качестве контрастирующего вещества и магнитного сенсора, работающего на основе эффекта гигантского магнитного импеданса (ГМИ) [1]. Обоснованность такого подхода базируется, на перспективных разработках в сфере создания МНЧ с биосовместимой оболочкой и углубленных исследованиях ГМИ, демонстрирующих возможность определения локализации и движения МНЧ [2].

Представлены результаты моделирования детектирования с помощью ГМИ-сенсора на основе пленочной структуры [FeNi/Cu]3/Cu/[FeNi/Cu]3 особенностей магнитодинамики феррожидкости, содержащей МНЧ оксида железа, циркулирующей в реальной коронарной артерии с множественными стенозами вследствие атеросклероза. Использован метод конечных элементов на лицензионном программном обеспечении Comsol Multiphysics 5. Архитектура артерии была оцифрована по данным ангиографии с помощью растрово-векторного

преобразования (рис. 1А). Распределение вихревых индукционных полей рассеяния от ферромагнитных частиц внутри области сосуда имеет сложный характер (рис. 1Б), и их суперпозиция будет отражаться в изменении кривой импеданса при продольном сканировании. Параметры феррожидкости получены в ходе аттестации реальных водных суспензий наночастиц, полученных методом лазерного испарения мишени [1].

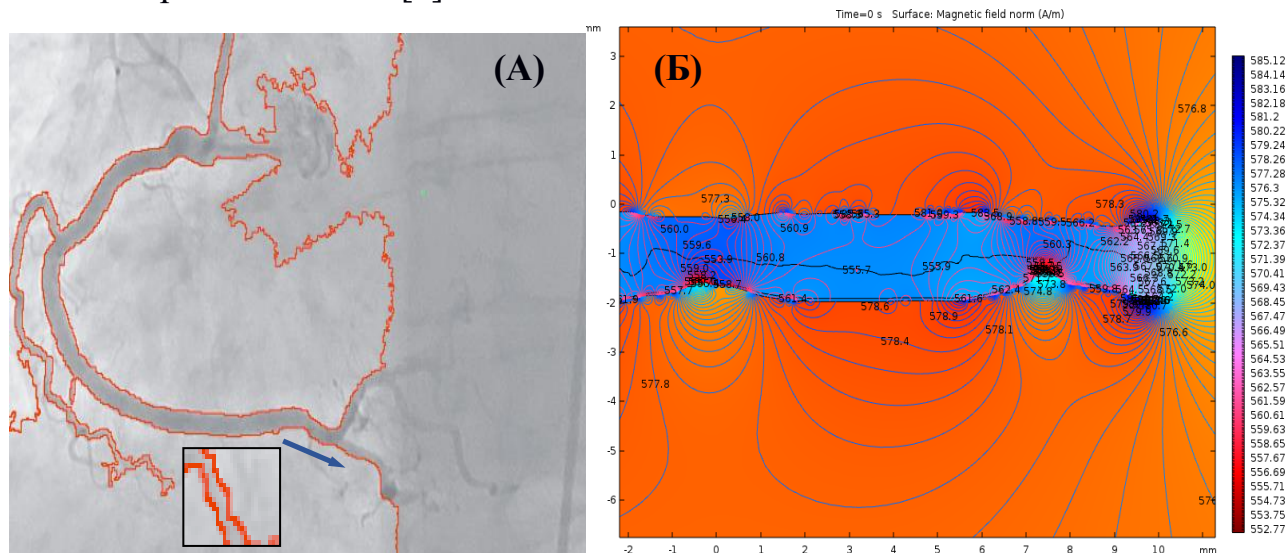


Рис. 1. (А) Векторная геометрия коронарной артерии. (Б) Распределение вихревых индукционных полей рассеяния от ферромагнитных частиц. Цветовая шкала соответствует распределению магнитного поля по нормальной компоненте

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 18-19-00090.

1. G.V. Kurlyandskaya, E. Fernández, et al. Appl. Phys. Lett. 106, 193702 (2015).
2. J. Llandro, J. J. Palfreyman, et al. Med. Biol. Eng. Comput. 48, 977 (2010).